



Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

As Engenharias frente a Sociedade, a
Economia e o Meio Ambiente

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E57	<p>As engenharias frente a sociedade, a economia e o meio ambiente [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (As Engenharias Frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente; v. 1)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-429-0 DOI 10.22533/at.ed.290192506</p> <p>1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Engenharia – Aspectos econômicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

As obras As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente Volume 1, 2, 3 e 4 abordam os mais diversos assuntos sobre métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação do homem com o meio ambiente e seus recursos.

O Volume 1 está disposto em 31 capítulos, com assuntos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Já o Volume 2, está organizado em 32 capítulos e apresenta uma vertente ligada ao estudo dos solos e águas, com estudos de sua melhor utilização, visando uma menor degradação do ambiente; com aplicações voltadas a construção civil de baixo impacto.

O Volume 3 apresenta estudos de materiais para aplicação eficiente e econômica em projetos, bem como o desenvolvimento de projetos mecânico e eletroeletrônicos voltados a otimização industrial e a redução de impacto ambiental, sendo organizados na forma de 28 capítulos.

No último Volume, são apresentados capítulos com temas referentes a engenharia de alimentos, e a melhoria em processos e produtos.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
CIDADES SUSTENTÁVEIS: PRÁTICAS PARA A RECUPERAÇÃO DAS ÁGUAS	
Aline Pereira Gaspar Karen Niccoli Ramirez	
DOI 10.22533/at.ed.2901925061	
CAPÍTULO 2	14
APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA EM EMPREENDIMENTOS RURAIS: CAPTAÇÃO, ARMAZENAMENTO E UTILIZAÇÃO	
Natalia da Rocha Pinto Elfride Anrain Lindner	
DOI 10.22533/at.ed.2901925062	
CAPÍTULO 3	31
PURIFICAÇÃO DE ÁGUA DOMÉSTICA UTILIZANDO PROCESSOS DE FILTRO BIOLÓGICO, FOTOCATÁLISE DE TiO ₂ E ADIÇÃO DE MORINGA	
Maria Marcyara Silva Souza Francisco Wellington Martins da Silva Antônia Mayara dos Santos Mendes Quezia Barboza Rodrigues Juan Carlos Alvarado Alcócer	
DOI 10.22533/at.ed.2901925063	
CAPÍTULO 4	41
DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA UTILIZANDO BOMBA DE ÁGUA COM ENERGIA MOLECULAR E TUBOS DE BOROSSILICATO	
Igor José Langer Luis Eduardo Palomino Bolivar	
DOI 10.22533/at.ed.2901925064	
CAPÍTULO 5	47
CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E REVISÃO DAS TÉCNICAS DE GERENCIAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA NOS CAMPOS MADUROS DA BACIA DO RECÔNCAVO	
Thaís Freitas Barbosa Victor Menezes Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.2901925065	
CAPÍTULO 6	60
CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DE QUATRO SUB-BACIAS DE DRENAGEM DE PONTA GROSSA-PR	
Rafaela Paes de Souza Barbosa Gustavo Forastiere Simoneli Maria Magdalena Ribas Döll Mayra Alves Donato	
DOI 10.22533/at.ed.2901925066	

CAPÍTULO 7	73
VERIFICAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE HÍDRICA DA LAGOA COSTEIRA DE JACAREPAGUÁ NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	
Ana Carolina Silva de Oliveira Lima Ana Cláudia Pimentel de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.2901925067	
CAPÍTULO 8	77
POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E TOXICIDADE DE PRODUTOS COMERCIAIS À BASE DE FUMO (<i>NICOTIANA TABACUM</i>) UTILIZADOS EM AGRICULTURA ORGÂNICA	
Magda Regina Santiago Lígia Maria Salvo	
DOI 10.22533/at.ed.2901925068	
CAPÍTULO 9	85
CONSCIENTIZAÇÃO AMBIENTAL E GEOTÉCNICA: CARTILHA INFANTIL E O PROJETO GEOPREVENÇÃO	
Carla Vieira Pontes Talita Gantus de Oliveira Vitor Pereira Faro Roberta Bomfim Boszczowski	
DOI 10.22533/at.ed.2901925069	
CAPÍTULO 10	95
AVALIAÇÃO DO EFEITO DA CAMADA DE COBERTURA NA ESTABILIDADE EM ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	
Alison de Souza Norberto Rafaella de Moura Medeiros Maria Odete Holanda Mariano	
DOI 10.22533/at.ed.29019250610	
CAPÍTULO 11	104
AVALIAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE (RSS) DE UM HOSPITAL MATERNIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	
Leonardo de Lima Moura Claudio Fernando Mahler	
DOI 10.22533/at.ed.29019250611	
CAPÍTULO 12	117
UM ESTUDO SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DE UMA USINA DE RECICLAGEM DE PAPEL PARA UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR EM MANHUAÇU	
Millena Gabriela Gualberto de Souza Nandeyara de Oliveira Costa Glaucio Luciano de Araujo Marcela Moreira Couto	
DOI 10.22533/at.ed.29019250612	
CAPÍTULO 13	126
BIOGÁS: O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO GÁS METANO GERADO EM ATERROS SANITÁRIOS	
Daniela Cristiano Rufino	
DOI 10.22533/at.ed.29019250613	

CAPÍTULO 14	138
PRODUÇÃO DE BIOETANOL UTILIZANDO HIDROLISADO CELULÓSICO DE BIOMASSA	
Cristian Jacques Bolner de Lima	
Francieli Fernandes	
Charles Souza da Silva	
Juniele Gonçalves Amador	
Charles Nunes de Lima	
Monique Virões Barbosa dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.29019250614	
CAPÍTULO 15	146
PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE SUÍNOS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PROPRIEDADES RURAIS DA REGIÃO DE CANOINHAS-SC	
Bruna Weinhardt da Silveira	
Leila Cardoso	
Olaf Graupmann	
DOI 10.22533/at.ed.29019250615	
CAPÍTULO 16	150
MODELAGEM DE BIORRETORES EM SÉRIE E COM RECICLO PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL ATRAVÉS DE UM ESTUDO DE CASO INDUSTRIAL	
Guilherme Guimaraes Ascendino	
Juan Canellas Bosch Neto	
Laura de Oliveira Martins Torres	
DOI 10.22533/at.ed.29019250616	
CAPÍTULO 17	166
O USO DO HIDROGÊNIO EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	
Gustavo Destefani Picheli	
Luiz Carlos Vieira Guedes	
DOI 10.22533/at.ed.29019250617	
CAPÍTULO 18	183
ENERGIA SOLAR: PANORAMA BRASILEIRO	
Douglas Mito Cerezoli	
Leonardo Vinhaga	
Camila Ricci	
DOI 10.22533/at.ed.29019250618	
CAPÍTULO 19	195
ECONOMIA DE ENERGIA: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL – ESTUDO DE CASO NO BLOCO I DO UNIPAM	
Daniel Marcos de Lima e Silva	
Maísa de Castro Silva	
Marcelo Ferreira Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.29019250619	

CAPÍTULO 20	211
USINAS SOLARES FLUTUANTES EM RESERVATÓRIOS DE HIDRELÉTRICAS: UMA SOLUÇÃO ALTERNATIVA PARA AUMENTAR A DEMANDA DE GERAÇÃO DE ENERGIA NA REGIÃO NORDESTE	
Jéssica Beatriz Dantas Antonio Ricardo Zaninelli do Nascimento Thayse Farias de Barros	
DOI 10.22533/at.ed.29019250620	
CAPÍTULO 21	222
CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES NATURAIS	
José Waltrudes Castanheira Pereira Márcio Cataldi	
DOI 10.22533/at.ed.29019250621	
CAPÍTULO 22	238
AVALIAÇÃO ANALÍTICA DAS EFICIÊNCIAS TÉRMICAS E ELÉTRICAS DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO ACOPLADO A UM COLETOR SOLAR DE PLACA PLANA	
Maxwell Sousa Costa Anderson da Silva Rocha Lucas Paglioni Pataro Faria	
DOI 10.22533/at.ed.29019250622	
CAPÍTULO 23	252
ESTUDO DO POTENCIAL EÓLICO NAS REGIÕES NOROESTE E SUL DO ESTADO DO CEARÁ NO PERÍODO DE 2013 À 2016	
Amanda Souza da Silva Rejane Félix Pereira Umberto Sampaio Madeiro Junior Guilherme Geremias Prata Ivandro de Jesus Moreno de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.29019250623	
CAPÍTULO 24	258
INVESTIGAÇÃO SOBRE A IMPORTÂNCIA E UTILIZAÇÃO DE PAPEL RECICLADO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR EM MINAS GERAIS	
Nandeyara de Oliveira Costa Millena Gabriela Gualberto de Souza Glaucio Luciano de Araújo Marcela Moreira Couto	
DOI 10.22533/at.ed.29019250624	
CAPÍTULO 25	270
UTILIZAÇÃO DA CINZA RESULTANTE DA INCINERAÇÃO DOS RESÍDUOS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL	
Olaf Graupmann Susan Hatschbach Graupmann	
DOI 10.22533/at.ed.29019250625	
CAPÍTULO 26	273
PRODUÇÃO DE LUMINÁRIAS A PARTIR DE RESÍDUOS DE MADEIRA	
Ana Luiza Enders Nunes Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.29019250626	

CAPÍTULO 27	279
REAPROVEITAMENTO DE MATERIAL FRESADO EM CAMADAS DE BASE DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS FLEXÍVEIS	
<p>Marcos Túlio Fernandes Jouséberon Miguel da Silva Henrique Lopes Jardim Alaor Afonso Ramos Soares Glaucimar Lima Dutra</p>	
DOI 10.22533/at.ed.29019250627	
CAPÍTULO 28	289
NOVA PROPOSTA DE ANTENA TÊXTIL COM SUBSTRATO BIODEGRADÁVEL PARA COMUNICAÇÕES SEM FIO	
<p>Matheus Emanuel Tavares Sousa Humberto Dionísio de Andrade Samanta Mesquita de Holanda Idalmir de Souza Queiroz Júnior</p>	
DOI 10.22533/at.ed.29019250628	
CAPÍTULO 29	296
RISCOS DE INCÊNDIO ASSOCIADOS AO USO DE LÍQUIDOS IÔNICOS EM DIFERENTES PROCESSOS	
<p>Milson dos Santos Barbosa Isabela Nascimento Souza Juliana Lisboa Santana Isabelle Maria Duarte Gonzaga Lays Carvalho de Almeida Aline Resende Dória Luma Mirely Souza Brandão Débora da Silva Vilar Priscilla Sayonara de Sousa Brandão</p>	
DOI 10.22533/at.ed.29019250629	
CAPÍTULO 30	307
CENÁRIO DAS PESQUISAS SOBRE IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DE IMPLANTAÇÃO OU DUPLICAÇÃO DE RODOVIAS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA	
<p>Zeferino José Alencar Bezerra Emerson Acácio Feitosa Santos João Gomes da Costa Thiago José Matos Rocha Aldenir Feitosa dos Santos Jessé Marques da Silva Júnior Pavão</p>	
DOI 10.22533/at.ed.29019250630	
CAPÍTULO 31	323
A MECÂNICA DOS AGENTES IMPONDERÁVEIS: UMA PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO PARA AS DISCIPLINAS DE QUÍMICA E MECÂNICA NO ENSINO TÉCNICO	
<p>Maria Lia Scalli Fonseca Felipe de Lucas Barbosa José Otavio Baldinato</p>	
DOI 10.22533/at.ed.29019250631	
SOBRE O ORGANIZADOR	341

CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES NATURAIS

José Waltrudes Castanheira Pereira

Universidade Federal Fluminense – Rio de Janeiro

Márcio Cataldi

Universidade Federal Fluminense – Rio de Janeiro

RESUMO: A energia solar fotovoltaica surge como uma alternativa promissora para a geração de energia limpa para regiões e países com alto potencial de irradiação solar e pouco aproveitamento desta fonte, o Brasil por exemplo. Sendo assim, o trabalho trata do assunto energia solar, apontando uma tecnologia da nova geração fotovoltaica chamada de Célula Solar Sensibilizada por Corante (CSSC). A CSSC é uma tecnologia de fabricação de baixo custo em comparação com células solares de silício que são maioria no mercado fotovoltaico. O seu funcionamento é comparado com a fotossíntese, em que as plantas retiram energia do sol, só que na célula, esta energia é convertida em eletricidade. Com isso, o objetivo deste trabalho foi construir células solares sensibilizadas por corantes naturais, demonstrando os testes de geração de tensão para cada tipo de corante. Os corantes utilizados foram o açaí em pó, o mirtilo triturado e a clorofila em pó. Realizou-se duas montagens diferentes nas células, a segunda montagem foi

feita para corrigir erros da primeira montagem como a falta de contatos elétricos estáveis nas células, possibilitando a avaliação da célula com uma combinação de corantes. Apesar de algumas adversidades encontradas no decorrer da confecção das CSSC, todas as células geraram energia na ordem de mV e a célula de clorofila atingiu o maior pico, gerando 258 mV.

PALAVRAS-CHAVE: energia solar; baixo custo; montagem e testes.

ABSTRACT: Photovoltaic solar energy emerges as a promising alternative clean energy generation for regions and countries with high solar irradiation potential and little use of this source, Brazil for example. Therefore, the paper deals with the subject solar energy, pointing to a technology of the new photovoltaic generation called Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). DSSC is a low-cost manufacturing technology compared to silicon solar cells that are the majority in the photovoltaic market. Its operation is compared to photosynthesis in which plants take energy from the sun, but in the cell this energy is converted into electricity. With this, the objective of this study was to construct solar cells sensitized by natural dyes, demonstrating the tests of tension generation for each type of dye. The dyes used were açai powder, crushed blueberry and chlorophyll powder. Two different assemblies were performed in the cells, the

second assembly was done to correct errors of the first assembly as the lack of stable electrical contacts in the cells, allowing the evaluation of the cell with a combination of dyes. Despite some adversities found during the preparation of CSSC, all the cells generated energy in the order of mV and the chlorophyll cell reached the highest peak, generating 258 mV.

KEYWORDS: solar energy; low cost; assembly and testing.

1 | INTRODUÇÃO

Recentemente, o crescimento de fontes de energia alternativas, como a energia solar e eólica, tem recebido cada vez mais destaque. Os impactos ambientais gerados por fontes de energia não renováveis, aumentam a preocupação com o efeito estufa e como ficará o mundo para as futuras gerações. No ano de 2013, cerca de 80% de toda energia produzida foi proveniente da queima de combustíveis fósseis, considerados os vilões causadores do efeito estufa (SONAI et al., 2015). A dependência dessas fontes poluentes vem sendo reduzidas, nos últimos anos, graças ao aumento da utilização de fontes renováveis.

A redução de custos dos sistemas fotovoltaicos e a crescente necessidade de fornecimento de energia sustentável coloca a tecnologia fotovoltaica a de mais rápido crescimento no ramo de energia (GÖRIG; BREYER, 2016). E para as regiões com uma irradiação global relativamente bem distribuída, com o Brasil, a energia solar fotovoltaica surge como uma alternativa promissora para geração de energia limpa. Porém, a representação da energia solar na matriz energética mundial é ainda muito pequena, cerca de 1% – no Brasil, representa apenas 0,01% do total. Segundo a Agência Internacional de Energia, a geração fotovoltaica de todas as usinas do mundo atingiu 67 gigawatts (GW) em 2011 (VASCONCELOS, 2013). E a maioria das células fotovoltaicas comercializadas são de silício monocristalino e policristalino, que possuem elevado custo. Desta forma, a baixa representação do mercado fotovoltaico é justificada pelo seu alto custo de fabricação, representando um obstáculo para a popularização desta fonte de energia. Para solucionar este problema, as células solares sensibilizadas por corantes surgem como uma alternativa interessante para a produção de módulos solares de baixo custo (SONAI et al., 2015). Esse tipo de célula faz parte da terceira geração fotovoltaica, também conhecida na literatura como fotovoltaicas emergentes (MARTINSON, 2008), e está sendo desenvolvida em universidades e empresas. Seguindo esta tendência, o trabalho teve o intuito de montar e testar a eficiência de células solares sensibilizadas por corantes naturais, que são consideradas uma linha inovadora de célula fotovoltaica com baixo custo de produção.

2 | CÉLULA SOLAR SENSIBILIZADA POR CORANTES NATURAIS

Embora seja uma tecnologia relativamente antiga, a produção de energia por células fotovoltaicas ainda não conseguiu uma grande expansão comercial devido ao elevado preço de implantação do sistema (BRAGA, 2008). Considerando esse cenário sócio econômico, existe a necessidade de se buscar novas tecnologias para a produção de células fotovoltaicas a custos mais acessíveis, viabilizando assim sua execução. A questão da preservação do meio ambiente também é outra vantagem da energia solar em relação a outras fontes energéticas. As células solares sensibilizadas por corantes naturais surgem como uma excelente solução para resolver o problema do custo que as células fotovoltaicas enfrentam, nos dias de hoje, no mercado.

A vantagem das células solares sensibilizadas com corantes (CSSCs) é que elas podem ser produzidas a baixo custo, isto é, potencialmente inferiores a 0,5 US \$ / pico Watt de acordo com projeções industriais. A CSSC não requer os passos de purificação de alto vácuo e materiais caros e intensivos em energia que são atualmente empregados na fabricação de todas as outras células solares de película fina. O baixo custo e a facilidade de produção de uma nova célula são motivos para aplicações em larga escala. Os materiais usados para fazer CSSCs são abundantemente disponíveis para que a tecnologia chegue até a escala terawatt sem correr riscos com fornecimento de matéria-prima (GRATZEL, 2009).

Essas células solares apresentam valores de eficiência de até 10% em sua configuração clássica. Para os módulos solares, cuja área ativa é muito maior que as células solares individuais, o maior valor de eficiência certificado obtido até então é de 8,9%, fabricados pela SHARP, mas estes ainda não são comercializados (SONAI et al., 2015).

2.1 Funcionamento

O princípio básico de funcionamento de uma célula solar sensibilizada por corante é similar ao processo de conversão de energia realizado pelas plantas na fotossíntese, que tem operado em plantas e organismos verdes por 3,5 bilhões de anos. Na folha verde, as moléculas de clorofila absorvem a luz solar e geram cargas elétricas, que não são coletadas como corrente elétrica. Em vez disso, elas são convertidas por reações redox no nível da membrana para gerar oxigênio da água e reduzir dióxido de carbono para carboidratos. Usando este princípio da fotossíntese natural, a célula solar sensibilizada por corantes absorve a luz que é utilizada para a produção de eletricidade (GRATZEL, 2009). Portanto, esta estrutura difere das células solares de silício que são encontradas no mercado e seu princípio de funcionamento é um pouco diferente das células solares típicas da junção p-n. A principal diferença é que, nos CSSCs, o elemento responsável pela absorção da luz, o corante, é separado do elemento responsável pelo transporte de carga que é o TiO_2 . Em células solares baseadas no tradicional silício p-n, o silício fornece duas funções que atuam como

captadores de fótons e fornecem o campo elétrico para a separação de cargas e a realização de uma corrente (MATEUSZ MICHAŁ AUGUSTYNIAK, 2016).

A célula é constituída basicamente por um eletrodo negativo, um eletrodo positivo e um eletrólito líquido ou gel entre os eletrodos, como mostra a Figura 1.

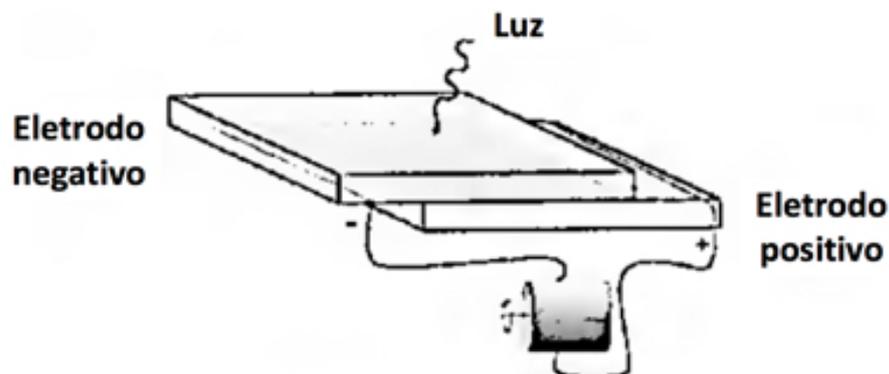


Figura 1. Célula solar sensibilizada por corante.

Fonte: Adaptado de LUCAS, 2004

O eletrodo negativo é preparado a partir da deposição de uma camada de TiO_2 (semicondutor) sob um substrato de vidro condutor transparente, o qual contém óxido de índio dopado com estanho (*Indium doped Tin Oxide - ITO*). Este filme de TiO_2 é então sensibilizado com um corante natural, onde nesse estudo foram utilizados o açaí, a clorofila e o mirtilo, que têm a capacidade de absorver a radiação solar. E depois é colocado o eletrólito líquido de KNO_3 no eletrodo negativo. O eletrodo positivo é preparado através da deposição de grafite 6B na superfície de um substrato de vidro condutor. Os eletrodos são então unidos e selados. A colocação do eletrólito líquido também pode ser feita depois da união das placas, ele pode ser inserido, por capilaridade, na pasta de TiO_2 (SONAI et al., 2015).

Quando a célula solar sensibilizada por corante natural é irradiada com luz visível, moléculas do corante absorvem essa radiação e passam a um estado excitado. Essas moléculas excitadas injetam elétrons na banda de condução do semicondutor TiO_2 , ficando num estado oxidado. Por outro lado, o eletrólito transmite elétrons ao corante, regenerando-o. O eletrólito, por sua vez, recebe elétrons provenientes do circuito exterior, através do eletrodo positivo e reduz-se, processo este, onde a camada de grafite funciona como catalisador. Dessa maneira, o ciclo que é alimentado pela energia solar é completado (LUCAS, 2004). Este ciclo da CSSC pode ser visto na Figura 2.

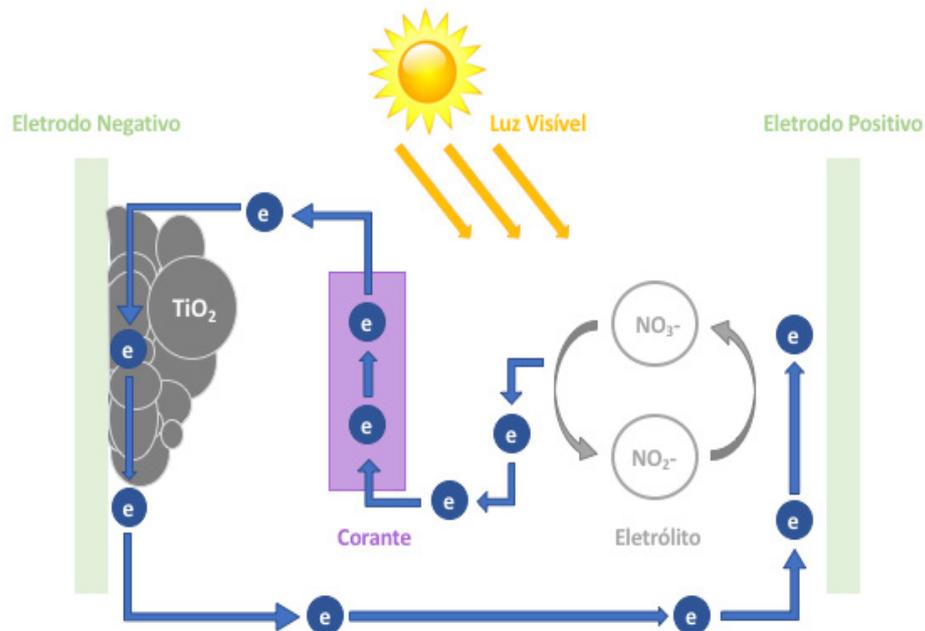


Figura 2. Esquema de funcionamento das células solares sensibilizadas por corante.

2.2 Principais materiais usados

Os principais materiais usados neste estudo foram: as placas de vidro de ITO, Dióxido de Titânio (TiO_2), Nitrato de Potássio (KNO_3), Grafite (lápiz 6B) e os corantes (açai, clorofila e mirtilo).

I. Placas de Vidro de ITO

Para se tornar um vidro condutor transparente, o material deve ser dopado, para assim produzir o deslocamento. Dos óxidos condutores transparentes (TCOs), óxido de índio dopado com estanho (ITO) é o mais utilizado (BAYONA, 2012).

II. Dióxido de Titânio (TiO_2)

O TiO_2 é semicondutor transparente não tóxico, possui uma banda proibida (*band gap*) de energia larga (3 eV), possui uma satisfatória fotoestabilidade e é um material de baixo custo. Ele é um polimorfo, ou seja, possui mais de uma forma na natureza. Rutilo (tetragonal), anatase (tetragonal) e bruquita (ortorrômbica) são as três formas cristalinas mais frequentes na natureza. As formas possuem propriedades físicas e químicas diferentes, devido às diferenças nas células unitárias, ou seja, no fator de empacotamento atômico em cada caso. O rutilo é termodinamicamente mais estável, mas, os métodos de preparação em solução favorecem a anatase. Estas considerações influenciam diretamente na eficiência das células solares. A forma bruquita é mais raramente estudada, em razão da dificuldade de sua obtenção na forma pura (PENA, 2015). O experimento do trabalho usou a forma rutilo para a montagem da célula solar sensibilizada por corante. A escolha foi feita por ser a forma de TiO_2 mais barata e pela pouca diferença de eficiência entre as formas.

III. Nitrato de Potássio (KNO_3)

O nitrato de potássio é um composto químico com a fórmula química KNO_3 . É um sal iônico de íons de potássio K^+ e íons de nitrato NO_3^- e, portanto, é um nitrato de metal alcalino. É um dos principais constituintes da pólvora e tem sido utilizado desde a Idade Média como um conservante alimentar (JOSHI et al., 2015). No trabalho, ele é usado como o eletrólito da célula solar. O KNO_3 é um condutor elétrico de natureza sólida, no qual cargas são transportadas por meio de íons. O composto químico é dissolvido em água e se torna condutor de corrente elétrica.

IV. Grafite (lápiz 6B)

O Grafite é um mineral cinza escuro, metálico e macio, constituído essencialmente de carbono, é um condutor de corrente elétrica e de calor, resistente a altas temperaturas e oxidação. Devido a seu alto ponto de fusão, é usado também como material refratário (ALLARD, 2006). Foi usado um lápis de grafite 6B para cobrir a superfície condutora da placa de vidro com uma camada de grafite. É importante aplicar em toda a superfície do vidro a grafite, pois este serve de catalisador na transferência de elétrons que vão regenerar o nitrato.

V. Corantes

Foram usados corantes naturais, os quais são facilmente extraídos de plantas e frutas, o que torna mais barato a produção da célula solar sensibilizada por corantes. Pelo seu baixo custo e ser um composto não tóxico, o pigmento natural tem sido um assunto muito pesquisado para a utilização como sensibilizador em células solares sensibilizadas por corantes naturais (JINCHU; SREEKALA; SREELATHA, 2013). Os pigmentos usados foram a clorofila e a antocianina, alguns dos principais compostos responsáveis pelos processos de geração e transferência de carga. A clorofila foi escolhida por ser abundante no meio ambiente, já que está presente em todos os organismos que realizam fotossíntese oxigênica (STREIT et al., 2005). A antocianina faz parte de um dos grupos mais disseminados e abundantes de pigmentos naturais. Devido aos grupos carbonila e hidroxila presentes na molécula de antocianina, elas podem se ligar facilmente à superfície das moléculas de TiO_2 (SAWHNEY; SATAPATHI, 2016). A antocianina foi representada por açaí puro em pó e a fruta mirtilo. Por apresentarem, geralmente, absorção máxima na faixa do visível, as antocianinas são boas sensibilizadores para semicondutores com larga banda proibida (band gap). O açaí encontra o máximo de absorção em 525 nm, o mirtilo encontra o seu máximo de absorção em 527 nm e a clorofila tem o ponto máximo de absorção dos fótons na região de 428 e 660 nm (CAMPOSTRINI, 1998; SONAI et al., 2015; XAVIER; SOUZA, 2010). A antocianina e a clorofila são suscetíveis à degradação devido à influência de vários fatores como alterações do pH, de temperatura e de luminosidade (CUNHA, 2012; MALHEIROS, 2007).

As Figuras 3-10 exibem o passo a passo da metodologia usada na primeira montagem para o preparo das células solares sensibilizadas por corantes naturais. O passo a passo da primeira montagem serviu de base para a segunda montagem

das células. A nova montagem teve como principal objetivo a melhoria na medição elétrica das CSSC. Foram utilizados diferentes laboratórios da Universidade Federal Fluminense, localizada no Rio de Janeiro, Brasil.



Figura 3. Ultrassom com a solução de TiO_2 .



Figura 4. Placas com TiO_2 depois da secagem.



Figura 5. Placas depois do mergulho no suco de fruta.



Figura 6. Solução de KNO_3 diluída.



Figura 7. Deposição do eletrólito nas placas. Figura 8. Grafite 6B pronto para ser depositado.

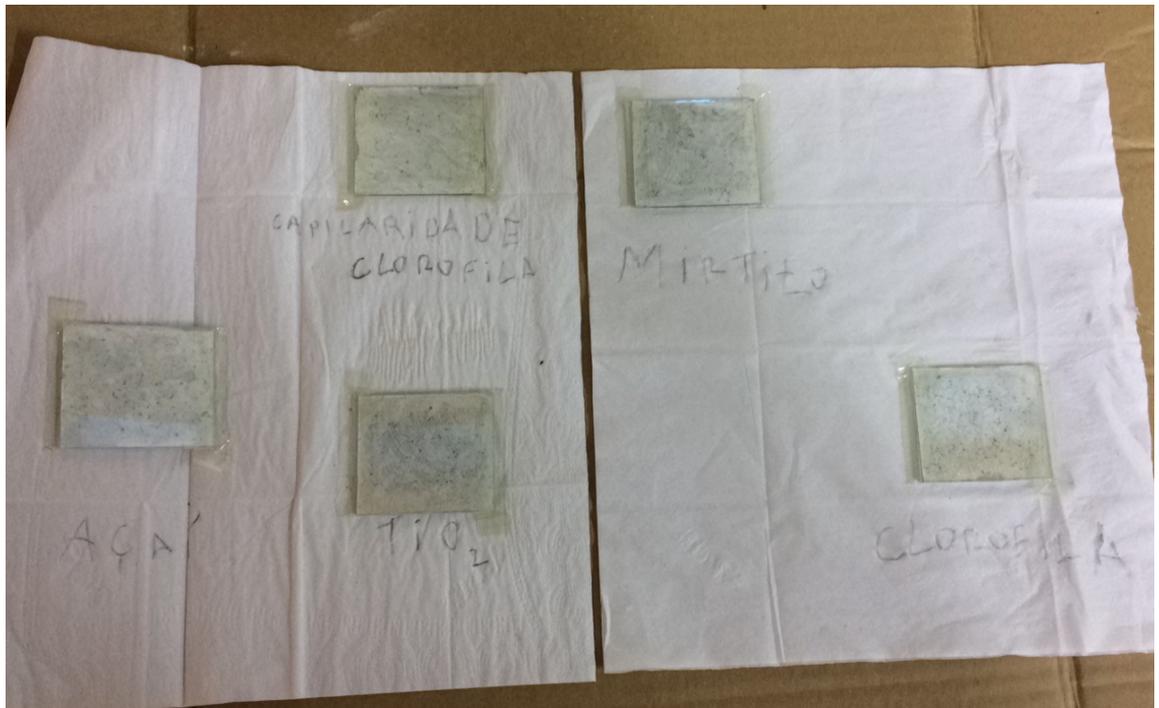


Figura 9. Células Solares Sensibilizadas por Corantes Naturais.

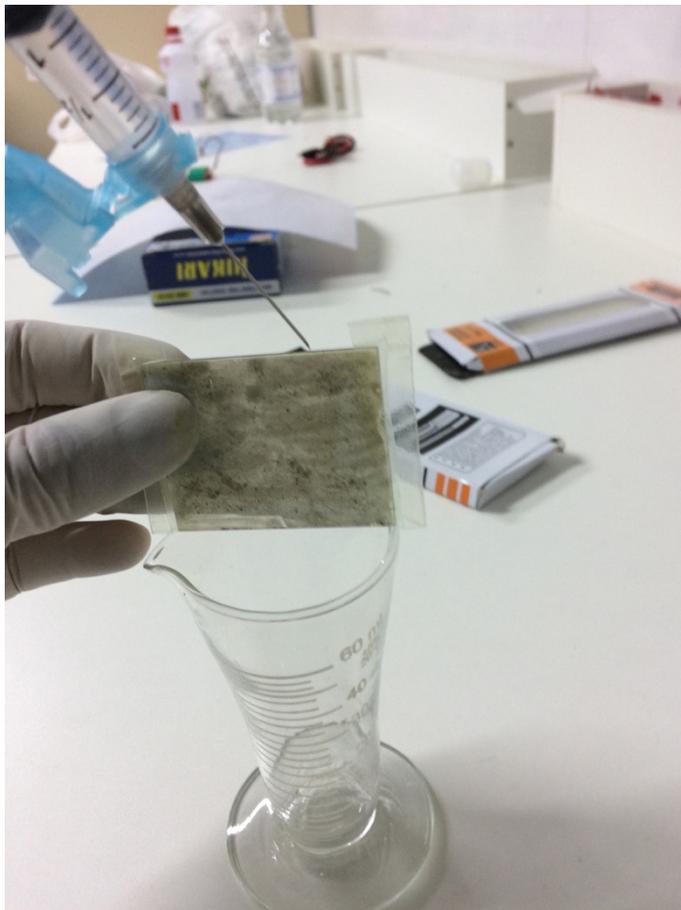


Figura 10. Deposição do eletrólito diluído na célula de clorofila.

6 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na primeira montagem, foram feitos testes de tensão elétrica nas cinco células formadas, a célula de açaí foi a mais testada. No dia 26/06/2017, às 16:00 horas, no Rio de Janeiro, Brasil, foi testado a placa solar de açaí em um multímetro. O açaí respondeu variando a tensão entre 15 mV e 50 mV, depois de 15 minutos no Sol, como mostram as Figuras 11 e 12.



Figura 11. Placa de açaí gerando 15 mV.



Figura 12. Célula de açaí gerando 50 mV.

No dia 28/06/2017, Rio de Janeiro, Brasil, foram feitos testes no laboratório do departamento de engenharia elétrica da Universidade Federal Fluminense. Foram usados um osciloscópio, um nanovoltímetro e luzes artificiais para a medição de tensão nas células solares sensibilizadas por corantes. Foram testadas as células de açaí e de mirtilo por cerca de 5 minutos e não foi encontrada nenhuma medição. As células, quando foram conectadas ao nanovoltímetro e ao osciloscópio, não responderam. Um dos motivos, pela falta de tensão das células, pode ser explicado pelo uso das lâmpadas incandescentes, que emitem radiação no comprimento de onda na faixa do vermelho-longo (700 nanômetros), ou seja, um comprimento diferente do utilizado no processo de fotossíntese dos corantes usados. Também há a possibilidade da degradação dos pigmentos pelo aumento de temperatura provocado pelas luzes artificiais.

Com esses pequenos valores atingidos, buscou-se alternativas para melhorar a eficiência das CSSCs. A primeira alternativa foi a remontagem da célula com um leve deslocamento horizontal, com a finalidade de aumentar a área de contato das células. A célula escolhida foi o mirtilo, a alteração pode ser vista na Figura 13.

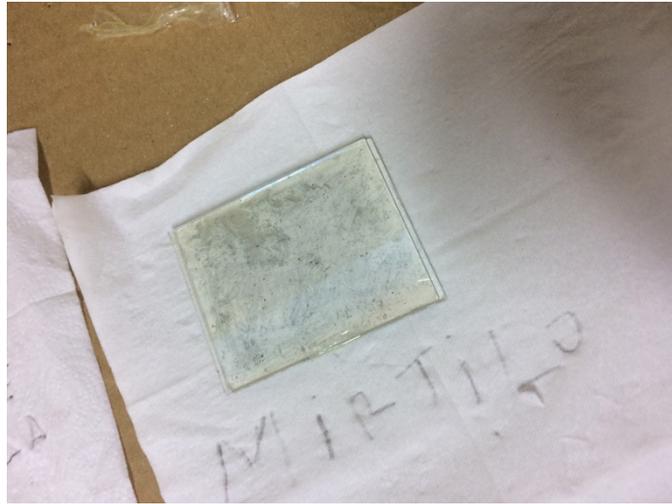


Figura 13. Célula de mirtilo levemente deslocada.

Com esse deslocamento, ficou mais fácil de colocar as pontas do multímetro na pasta semicondutora. Mas a eficiência continuou muito baixa (3 mV). Além de não aumentar a eficiência, esse método causou danos na pasta semicondutora. A segunda alternativa foi a recolocação do eletrólito líquido na CSSC, com o intuito de aumentar a quantidade do condutor na célula. Foi inserido na mesma célula de clorofila que já tinha recebido o eletrólito, por capilaridade, na sua formação inicial. A célula de clorofila respondeu, rapidamente, com um máximo de 258 mV, apresentada na Figura 14.



Figura 14. Célula de clorofila gerando 258 mV, sem estabilidade na medição.

Foi colocado o restante de eletrólito líquido, por capilaridade, nas células de açai e de TiO_2 (sem corante) para certificar que o principal problema estava na ausência

do eletrólito líquido nas placas. A célula de açaí apresentou um máximo de 142 mV e a célula de TiO_2 chegou aos 3 mV. A produção de diferença de potencial após a infiltração do eletrólito líquido nas células de clorofila, açaí e TiO_2 comprovam que o eletrólito volatilizou com o tempo e com as aberturas laterais das células ou foi colocado uma quantidade pequena de eletrólito no momento da confecção da célula. Para verificar o tempo de volatilização do eletrólito, depois de uma hora da medida inicial, foi feita mais uma medida na célula do açaí e mostrou que ainda estava gerando tensão. Com todas essas mudanças feitas nas células, pode-se notar que os maiores problemas para a geração de tensão foram: a falta de um contato ideal para fazer a medição, a provável degradação do corante e a inadequada conservação do eletrólito líquido.

Com todas essas comprovações, uma nova montagem foi feita, construindo 3 novas células: uma célula de açaí, uma de clorofila e outra com a combinação do açaí e da clorofila, de forma proporcional, ou seja, uma mistura de 50% de açaí com 50% de clorofila. Apoiado na literatura, a mistura foi feita para aumentar a eficiência nas células (DAFU WANG, 2017).

A montagem das células foram feitas em dias diferentes, a célula de açaí + clorofila foi construída com o objetivo de resolver o problema de instabilidade na medição, no dia 06/09/2018. O teste da célula ocorreu no dia 13/09/2018, no intervalo de 12:55 h à 13:00 h, gerando tensão entre 100-150 mV. A figura 15 exibe o modelo sendo testado sem nenhum problema na aferição da tensão na CSSC.

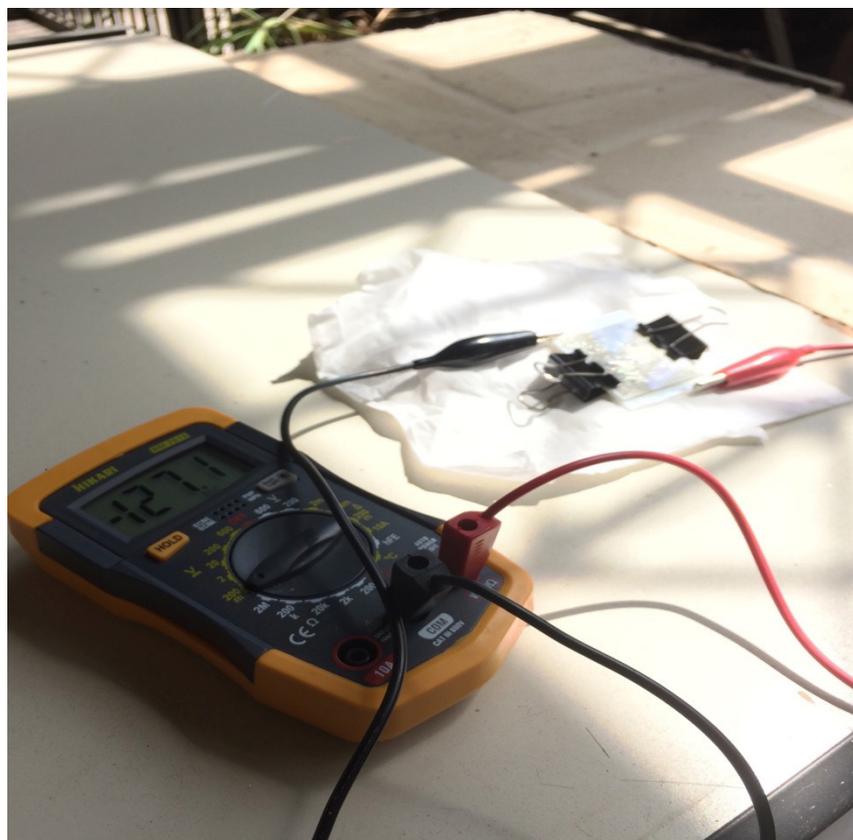


Figura 15. Célula de açaí + clorofila gerando 127,1 mV.

Já as células de açaí e de clorofila foram feitas, posteriormente, no dia 07/11/2018. No dia 12/11/2018, entre 15:15 h à 15:25 h, realizou-se a medição nas três células. 34,4 mV, 21,6 mV e 7,7 mV foram os resultados encontrados, respectivamente, nas células de açaí + clorofila, clorofila e açaí. Os resultados podem ser observados nas Figuras 16,17,18.



Figura 16. Célula de açaí + clorofila gerando 34,4 mV.



Figura 17. Célula clorofila gerando 21,6 mV.

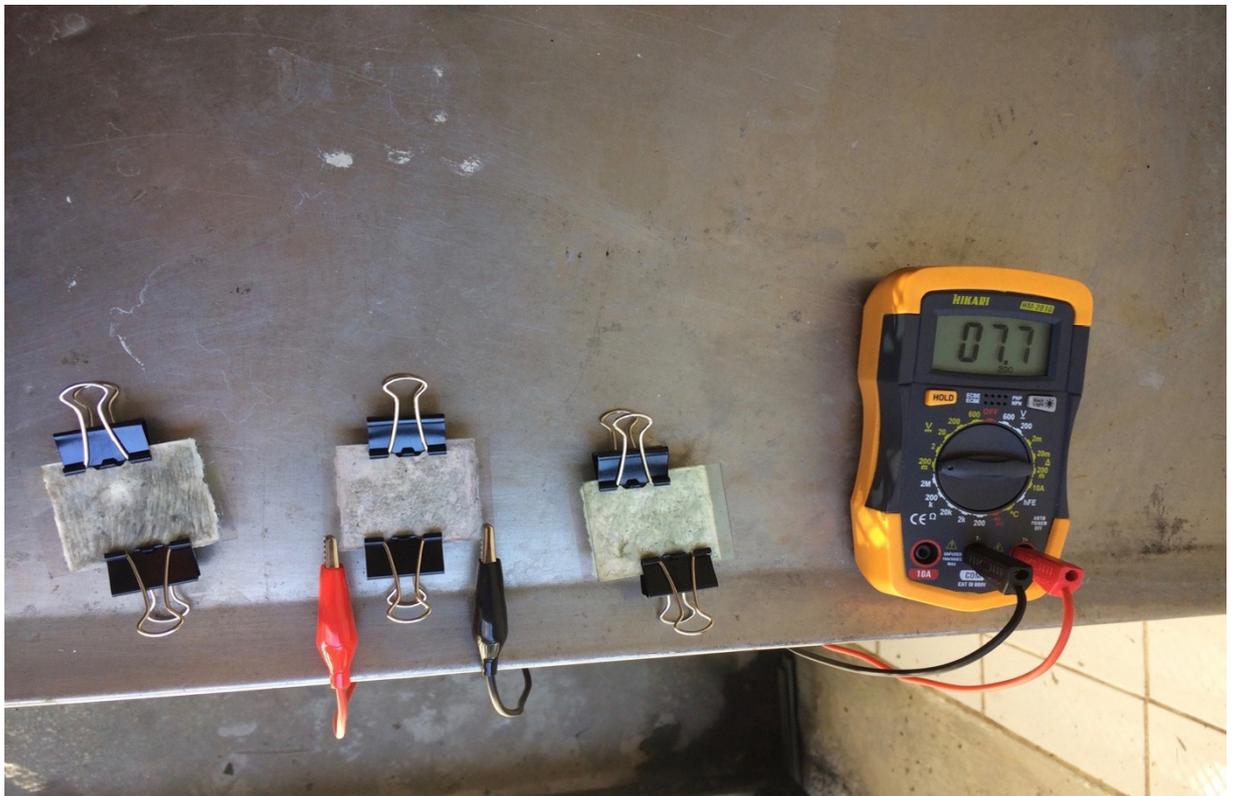


Figura 18. Célula açai gerando 7,7 mV.

Os resultados da primeira montagem se aproximaram de um dos estudos que serviu de base de comparação entre as células solares sensibilizadas por corantes orgânicos, onde se observou a geração de tensão de 330 mV do corante da Jabuticaba (BOTELHO; DANTAS, 2013). Os corantes naturais da cenoura, cereja, beterraba e amora corantes ficaram entre 110 e 191 mV e a célula sem corante gerou 8,95 mV (BOTELHO; DANTAS, 2013). Na primeira montagem, a clorofila produziu 258 mV, o açai produziu 142 mV e o TiO_2 , produziu 3 mV. Ou seja, as tensões dos dois trabalhos foram próximas, confirmando o rendimento das células solares sensibilizadas por corante. O segundo estudo, com a melhora nas condições de medição elétrica, serviu para comparar com a primeira montagem e comprovar que uma combinação proporcional de dois corantes pode produzir uma célula mais eficiente. As células na segunda montagem deram medidas menores de tensão, mas foram feitas de maneira diferentes. A redução de área condutiva devido a implementação de terminais elétricos pode-se justificar o decréscimo nas medições.

7 | CONCLUSÃO

Sabe-se que as fontes renováveis de energia são essenciais para o crescimento sustentável da nossa sociedade. Apesar de existir uma necessidade crescente pelo uso delas, ainda nos esbarramos com tecnologias muito recentes, em desenvolvimento, muitas vezes não tão eficientes e, portanto, ainda com um custo alto se comparadas com a matriz energética tradicional. Ou seja, é de extrema importância o aumento

de investimentos em pesquisa das fontes renováveis de modo a alcançarmos uma eficiência cada vez maior.

Células solares sensibilizadas por corante (CSSC) são baseadas em moléculas de corante entre eletrodos. Embora sua eficiência seja muito baixa, seu custo também é muito baixo (KIBRIA et al., 2014). Com a produção em série, o preço desta tecnologia pode ficar ainda mais baixo. As CSSC também contam com uma enorme flexibilidade dos seus materiais, isto é, as células podem ser feitas de acordo com a disponibilidade local. Além de possuir a flexibilidade dos materiais, as células podem ser montadas de maneiras diferentes e com uma certa facilidade. Apesar do uso do Nitrato de Potássio, por ser um eletrólito forte, as CSSC utilizam produtos não tóxicos e por isso não causam riscos ambientais na produção em larga escala de painéis solares de TiO_2 , além de seu descarte ser mais sustentável do que o descarte das placas de silício, por exemplo. Isto é, as CSSCs têm um impacto ambiental menor na fabricação e na disposição, se forem comparadas com as células solares de silício.

Os testes das células, na primeira montagem deram resultados próximos aos encontrados na literatura, com um pico de geração de 258 mV para a placa de clorofila e um resultado de 142 mV para a placa de açaí, que pode ser justificado pela degradação do corante da fruta pelo teste feito com as luzes artificiais. Com o problema da medição resolvido, estudou-se outra melhoria para a célula que foi a combinação de corantes diferentes. A segunda montagem serviu para comprovar a geração de energia das células e demonstrar que a tecnologia continua crescendo, com novas estruturas. Ressaltando que, a célula utilizada neste estudo foi menor, em área, do que a utilizada na maioria dos trabalhos utilizados como base de comparação.

Com o devido investimento nas pesquisas desta área, as células solares sensibilizadas solares podem servir como uma solução com um pequeno impacto ambiental, de baixo custo e com uma eficiência satisfatória no ramo de energia solar.

REFERÊNCIAS

ALLARD, S. **Graphite - Mineral Commodity Profile** No. 3. n. 3, p. 1–6, 2006.

BAYONA, G. A. L. **Desenvolvimento de Filmes de ITO para Dispositivos Orgânicos Eletroluminescentes Invertidos (IOLEDs) e Transparentes (TOLEDs)**. [s.l.] PUC-Rio de Janeiro, 2012.

BOTELHO, F. K.; DANTAS, N. J. **Células Solares de Filmes Finos de Nanoestruturas Semicondutoras de TiO_2 e Nb_2O_5 Sensibilizadas por Corantes Orgânicos (“dye-sensitized solar cells”-dssc)**. p. 11, 2013.

BRAGA, R. P. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações**. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

CAMPOSTRINI, E. **Fluorescência da Clorofila A: Considerações Teóricas e Aplicações Práticas**. p. 1–34, 1998.

- CUNHA, E. L. DA. **Leucoantocianidina em Amostras de Açai (euterpes oleracea)**. p. 1–7, 2012.
- DAFU WANG. **Food Dyes Based Dye-sensitized Solar Cells**. [s.l.: s.n.].
- GÖRIG, M.; BREYER, C. Energy learning curves of PV systems. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 35, n. 3, p. 914–923, maio 2016.
- GRATZEL, M. **Molecular Photovoltaics Mimic Photosynthesis**. [s.l.: s.n.].
- JINCHU, I.; SREEKALA, C. O.; SREELATHA, K. S. **Dye Sensitized Solar Cell Using Natural Dyes as Chromophores - Review**. *Materials Science Forum*, v. 771, n. October, p. 39–51, 2013.
- JOSHI, C. S. et al. **Environmentally and Economically Feasibility Manufacturing Process of Potassium Nitrate for Small Scale Industries : A Review**. v. 2, p. 88–99, 2015.
- KIBRIA, M. T. et al. **A Review : Comparative Studies on Different Generation Solar Cells Technology**. p. 51–53, 2014.
- LUCAS, J. A. T. DOS R. **Introdução a Novos Processos de Produção de Energias Renováveis no Ensino Secundário: Célula Fotovoltaica Orgânica e Pilha de Combustível**. p. 123, 2004.
- MALHEIROS, G. C. **Estudo da Alteração da Cor e Degradação Da Clorofila Durante Armazenagem de Erva-Mate Tipo Chimarrão**. p. 104, 2007.
- MARTINSON, A. B. F. **Charge Dynamics in New Architectures for Dye-Sensitized Solar Cells**. *Strategies*, n. December, 2008.
- MATEUSZ MICHAŁ AUGUSTYNIAK. **Preparation , Characterisation and Optimization of Blocking Layers for Improving Efficiency of Dye- Sensitized Solar Cells**. n. September, 2016.
- PENA, A. D. L. **Dióxido de Titânio para Aplicação em Células Solares**. p. 34, 2015.
- SAWHNEY, N.; SATAPATHI, S. **Utilization of Naturally Occurring Dyes as Sensitizers in Dye Sensitized Solar Cells**. p. 1–11, 2016.
- SONAI, G. G. et al. **Células Solares Sensibilizadas por Corantes Naturais: um Experimento Introdutório sobre Energia Renovável para Alunos de Graduação**. v. 38, n. 10, p. 1357–1365, 2015.
- STREIT, N. M. et al. **As Clorofilas**. p. 748–755, 2005.
- VASCONCELOS, Y. **O Desafio do Sol**. p. 4, 2013.
- XAVIER, A. M.; SOUZA, F. L. DE. **Extração e Caracterização Óptica de Corantes Naturais para Uso em Células Fotovoltaicas**. 2010.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-429-0

